



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**ZKUŠEBNÍ STANOVISŤE PRO MĚŘENÍ VÝKONU
MOTOCYKLŮ**

CHASSIS DYNAMOMETER SYSTEM FOR MOTORCYCLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Hanuš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Michal Hanuš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Michal Janoušek, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zkušební stanoviště pro měření výkonu motocyklů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popište používaná řešení zkušebních stanovišť pro měření výkonu motocyklu. Na základě rešerše vyberte řešení vhodné pro měření výkonu malého motocyklu a proveďte jeho realizaci.

Cíle bakalářské práce:

Popište používaná zkušební stanoviště pro měření výkonu motocyklu.

Vyberte vhodné stanoviště pro měření výkonu malého motocyklu.

Proveďte realizaci vybraného měřicího stanoviště.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R. a BUDYNAS, Richard G. (ed.). Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

STOFFREGEN, Jürgen. Motorradtechnik. Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk. Wiesbaden: Springer Verlag, 2012. 488 s. ISBN 978-3-8348-1716-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá realizací projektu dynamometru pro motocykly. Tento projekt je spjat s měřením výkonu, měřením točivého momentu a optimalizací funkce dvoudobých motorů. Úvod se zabývá volbou dynamometru pro měření výkonu a krouticího momentu motocyklu, při zachování cenové dostupnosti celého systému. Na základě rešerše je vybrané řešení realizováno.

KLÍČOVÁ SLOVA

motocykl, dynamometr, zkušebna, výkon, točivý moment

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on realization of the dynamometer project for motorcycles. The project is connected with measuring of power, measuring of torque and optimization of two-stroke engine. The introduction aims to choose best option based on the research and requirements.

KEYWORDS

motorcycle, dynamometer, testing room, power, torque

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HANUŠ, M. *Zkušební stanoviště pro měření výkonu motocyklu*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 44 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Janoušek Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Janouška Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2019

.....

Michal Hanuš

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Janouškovi, Ph.D. za cenné rady a důkladné vedení bakalářské práce, které mi pomohly při vypracování. Dále děkuji své rodině za podporu.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Dynamometry	10
1.1 Točivý moment.....	10
1.2 Výkon.....	12
1.3 Základní principy při měření charakteristických veličin	13
2 Druhy dynamometrů	16
2.1 Motorové dynamometry.....	16
2.2 Vozidlové dynamometry	18
3 Měřicí stanoviště pro motocykl	23
3.1 Realizace v rámci bakalářské práce	23
4 Provedení zkušebního měření.....	36
4.1 Nastavení softwaru	36
4.2 Průběh měření.....	36
4.3 Korigovaná data.....	37
Závěr	40
Seznam použitých zkratk a symbolů	43

ÚVOD

Testování a simulace je základním nástrojem objevování nových poznatků. Dříve se mnohé řešilo metodou „pokus-omyl“. Tato metoda má stále platné místo i v dnešní době, avšak u vývoje nákladných zařízení je tato metoda z finančního hlediska nepoužitelná. Proto se snažíme vytvořit validní modely daných problémů, které by nám napomohly daná zařízení zhotovit s jistým výsledkem napoprvé. Obvykle se vše řeší nejdříve na prototypu, jehož vývoj je započat výpočetními metodami. Po úspěšném schválení funkce je možné nákladné zařízení prohlásit za funkční a začít s výrobou.

Obor testování a simulace se začal rozvíjet s rostoucími požadavky na pohonné spalovací jednotky a je tedy rozšířený ve všech odvětvích, kde se lze s motory setkat. Dále je možné tyto poznatky aplikovat i na další obory, kde je nutné využívat dynamometr.

Jedním z cílů této bakalářské práce je sestavit zařízení, které lze použít při vývoji dvoudobých motorů a zvyšování jejich výkonu. Přesněji se jedná o cílenou optimalizaci předem určených veličin pro dané použití motocyklu. Rozdílné přístupy k vývoji jednotlivých motocyklů lze vidět při porovnání závodního a sériově vyráběného motocyklu. Například u závodního motocyklu chceme dosáhnout maximálního výkonu, avšak nevyhnutelně dosáhneme vysoké hladiny hluku, nízké životnosti a velké spotřeby paliva. Proto obvykle hledáme správný kompromis mezi určenými aspekty. Toto lze pozorovat na schématickém vyobrazení. (Obr. 1)



Obr. 1 Cílem je kompromis mezi požadovanými výsledky.

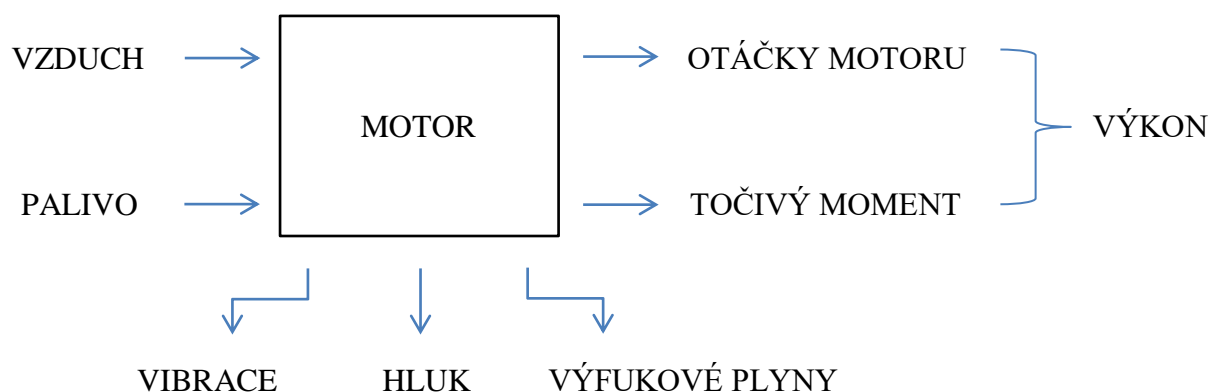
Bližší aspekty pro měření směřují k optimalizaci komponent motoru, optimalizaci momentové křivky a jejího charakteru, finálnímu nastavení palivové směsi, nastavení předstihu zapálení palivové směsi a mnoho dalšího.

1 DYNAMOMETRY

Obecně pojem dynamometr definuje zařízení, které umožňuje měření veličiny zvané točivý moment. Při použití pro získání točivého momentu, který je vytvořen spalovací jednotkou, je možné určit práci vykonanou za časový úsek. Tuto veličinu nazýváme výkon. S pomocí těchto veličin lze kvantifikovat vývoj motorových agregátů. Tyto veličiny nemusíme měřit přímo, ale je možné je při určitých typech zkoušek stanovit výpočtem. Dále je nutné uvažovat nad mnoha dalšími veličinami, které jsou úzce spojené s touto problematikou.

Je nezbytné zmínit, že dynamometry jsou primárně určeny k různým účelům, jako jsou například zkoušky životnosti.

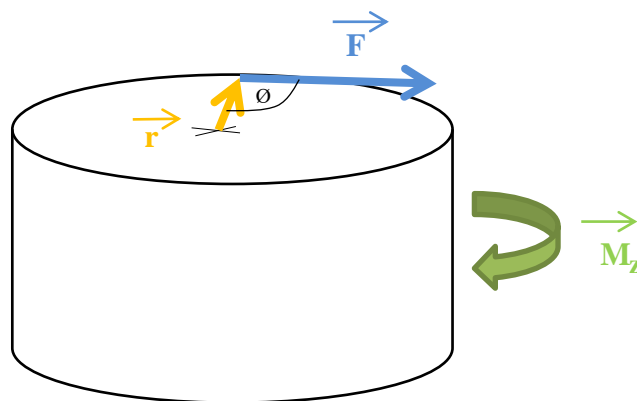
Motocykl je jednostopé vozidlo obvykle se spalovací pohonnou jednotkou. Tato pohonná jednotka přenáší točivý moment, získaný spalováním směsi ve válci, na zadní kolo. Obvykle je tento přenos uskutečněn pomocí rozety, pastorku a řetězu. Pro požadované jízdní vlastnosti je nutné použít správné převodové poměry v průběhu přenosu daným systémem. Tento systém obsahuje veškerá převodová ústrojí.



Obr. 2 Schéma pohonné jednotky. [4]

1.1 TOČIVÝ MOMENT

Moment síly je vektorová veličina, která nám udává působení tečné složky síly na rameni při otáčivém pohybu. V souvislosti s danou problematikou se tato fyzikální veličina nazývá točivý moment. Je jedním z důležitých charakteristických parametrů motoru.



Obr. 3 Schématické zobrazení momentu síly v horní rovině válce.

Velikost momentu síly: [2]

$$M_z = (r) \cdot (F \cdot \sin \varphi), \quad (1)$$

kde: M_z je moment síly, r rameno síly, F působící síla a φ úhel mezi vektory.

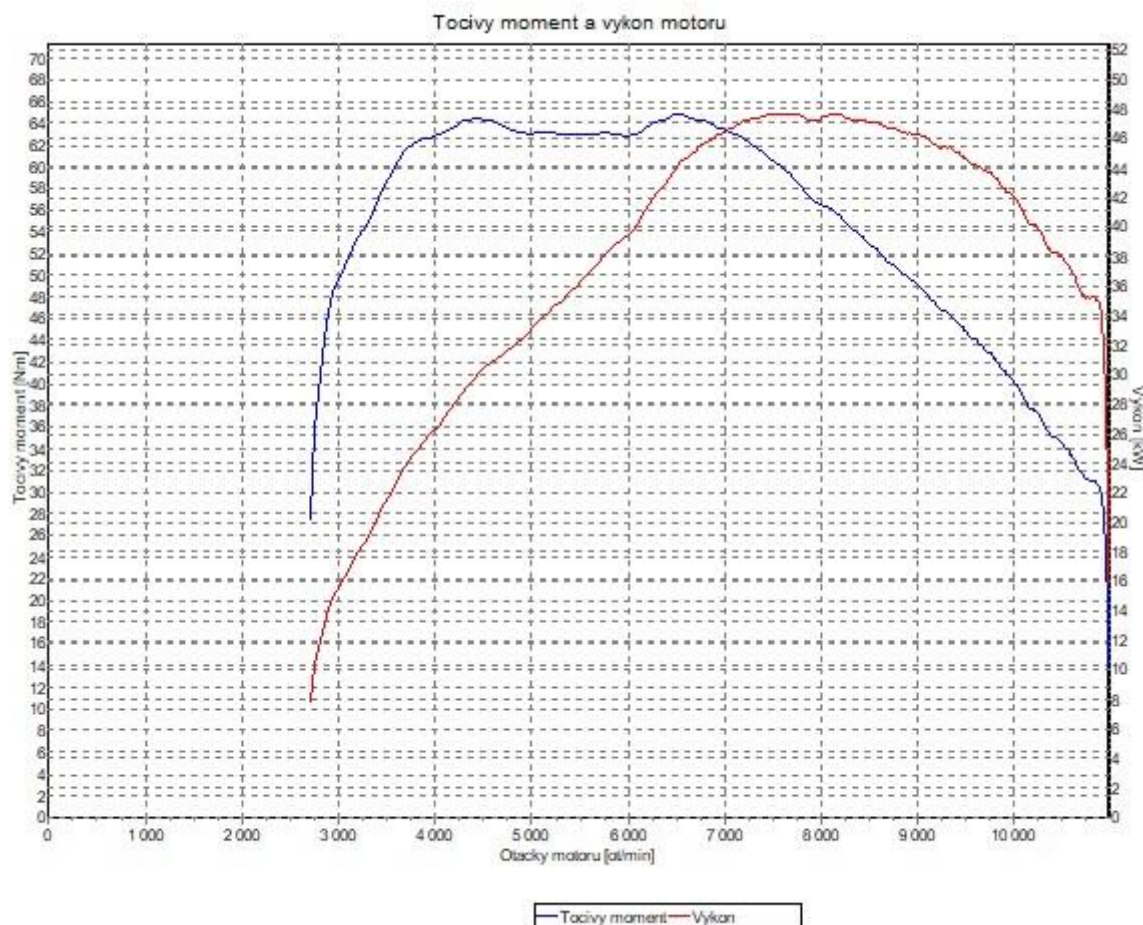
Důležitým poznatkem je související věta o momentu hybnosti. Tato věta bude využita při získávání veličiny točivý moment.

Věta o momentu hybnosti pro rotaci kolem pevné osy: [2]

$$I \cdot \varepsilon = \sum M_z, \quad (2)$$

kde: I je moment setrvačnosti tělesa, ε úhlové zrychlení a M_z moment síly.

Točivý moment motoru se zobrazuje obvykle v grafu v závislosti na otáčkách motoru. Křivka točivého momentu při plném zatížení motoru se označuje jako vnější otáčková charakteristika.



Obr. 4 Výkonová a momentová křivka motocyklu. Měřeno na válcovém dynamometru.

1.2 VÝKON

Obecná veličina výkon je definována jako práce vykonaná za jednotku času. Je nutné rozlišovat průměrný výkon a okamžitý výkon. Průměrný výkon se získá pomocí změn počáteční a koncové polohy. Okamžitý výkon je vyjádřen jako derivace práce podle derivace času.

Okamžitý výkon: [2]

$$P = \frac{dW}{dt}, \quad (3)$$

kde: dW je elementární práce a dt infinitezimální okamžik času.

V souvislosti se získáním této veličiny je využito vyjádření elementární práce jako skalárního součinu působící síly a elementárního posunutí. Pro rotační pohyb jsme schopni vyjádřit výsledný výkon pomocí úhlové rychlosti a působícího točivého momentu. (4)

Výkon motoru: [2]

$$P = \omega \cdot M, \quad (4)$$

kde: ω je úhlová rychlost motoru a M je točivý moment.

Pro běžnou praxi je předchozí vyjádření rozepsáno do tvaru. (5)

Výkon motoru: [4]

$$P = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_m \cdot M, \quad (5)$$

kde: n_m jsou otáčky motoru a M točivý moment.

Pro výpočet výkonu nízko objemového dvoudobého spalovacího motoru v souvislosti s uvažováním tlaku od spalování lze dále použít následující vyjádření. Toto vyjádření převedlo základní vztah do formy, kdy jsme pro jednotlivé reálné motory schopni porovnávat veličinu obvykle značenou jako BMEP neboli Střední efektivní tlak. (6)

Výkon dvoudobého motoru: [6]

$$P = P_e \cdot V_h \cdot N \cdot i, \quad (6)$$

kde: P_e je střední efektivní tlak (BMEP), V_h zdvihový objem, N otáčky motoru a i počet válců.

1.3 ZÁKLADNÍ PRINCIPY PŘI MĚŘENÍ CHARAKTERISTICKÝCH VELIČIN

Při získávání charakteristických veličin je nezbytné uvažovat o termodynamice spojené s hořením směsi ve válci. Tato skutečnost přímo ovlivňuje získávané veličiny. Z teoretického hlediska termodynamiky jsme schopni daný problém vyjádřit s absolutní přesností při použití zjednodušených modelů spalovacích motorů např. Ottův cyklus. Avšak do měření reálných agregátů vstupují skutečné vnější podmínky. O tomto pojednávají následující kapitoly.

1.3.1 PODMÍNKY MĚŘENÍ

Při reálném měření jsou získaná data ovlivněna vnějšími podmínkami. Obvykle se výkon a točivý moment používá pro komparativní účel. Ať už je to při vývoji komponent či při porovnání jednotlivých motorů. Z tohoto důvodu je nutné dodržet vnější vstupní podmínky konstantní. Pokud měření probíhá v jiný den, tak je možné, že se vnější podmínky měření změnily. Toto ovlivní získaná data. Do hlavních vstupních podmínek je zahrnuta obvykle teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a atmosférický tlak.

TEPLOTA VZDUCHU

Vzduch je chemická směs plyných prvků. Při zahřátí této směsi dostávají jednotlivé atomy více tepelné energie a zvýší se jejich neuspořádaný kmitavý pohyb. Tento jev způsobí snížení hustoty vzduchu. Při ochlazení dochází k opačnému jevu. Změna hustoty nasávaného vzduchu má přímý vliv na plnicí účinnost motoru a tím i jeho výkon.

VLHKOST VZDUCHU

Vlhkost vzduchu vyjadřuje množství vodní páry ve vzduchu. Při poklesu vlhkosti dojde ke zvýšení obsahu kyslíku ve vzduchu na objemovou jednotku vzduchu. Toto znovu nezanedbatelně ovlivňuje měřené parametry.

ATMOSFÉRICKÝ TLAK

Pokud měření probíhá v odlišných nadmořských výškách, tak se atmosférický tlak výrazně liší. Změna atmosférického tlaku má vliv na hustotu nasávaného vzduchu a tím i ovlivňuje plnicí účinnost motoru.

1.3.2 KOREKCE NAMĚŘENÝCH DAT

Vzhledem k výše uvedeným poznatkům byly zavedeny korekční faktory, které umožňují porovnávat měření provedená za odlišných atmosférických podmínek. Tyto faktory mohou také sloužit k určení chování motoru za odlišných vnějších podmínek.

Doposud bylo zavedeno několik korekčních faktorů podle různých norem (ISO, SAE, DIN, JIS). Norma SAE se používá v anglosaských zemích a norma ISO nejčastěji v Evropě.

KOREKCE DLE NORMY SAE J816B [4]

Tento korekční faktor je formulován jako změna ze základních podmínek p , T_K , p_W na referenční podmínky p_R , T_{KR} , p_{WR} . Mluvíme zde o tlaku vzduchu, teplotě a tlaku vodní páry.

Korekční exponent: $n = 0,7$ pro vznětové motory

$n = 0,5$ pro zážehové motory.

Za předpokladu použití tohoto korekčního faktoru jsou vnější podmínky tlaku a teploty vzduchu při testování omezeny na hodnoty 95 až 101 kPa pro tlak a 15,5 až 43,3 °C pro teplotu.

Korekční faktory podle norem SAE porovnávají k referenčním hodnotám:

$$p_R = 101\,037 \text{ Pa}$$

$$T_{KR} = 15,56 \text{ °C} = 288,71 \text{ K}$$

$$p_{WR} = 0.$$

Korekční faktor: [4]

$$C_{f_SAE} = \frac{p_R}{p} \cdot \left(\frac{T_K}{T_{KR}} \right)^n, \quad (7)$$

kde: p_R je referenční hodnota tlaku, p základní hodnota tlaku, T_K základní hodnota teploty, T_{KR} referenční hodnota teploty a n korekční exponent.

Tento obecný vztah je možné upravit pro zážehové motory a teploty ve stupních celsia.

Korekční faktor pro indikovaný výkon zážehového motoru: [4]

$$C_{fI_SAE} = \left(\frac{p_R}{p - p_W} \right) \cdot \left(\frac{273,1 + T_C}{288,9} \right)^{1/2}, \quad (8)$$

kde: p_R je referenční hodnota tlaku, p základní hodnota tlaku, p_W základní hodnota tlaku vodní páry a T_C základní hodnota teploty.

KOREKCE DLE NORMY ISO 1585 [7]

Korekční faktory podle norem ISO porovnávají k referenčním hodnotám:

$$p_0 = 100\,000 \text{ Pa}$$

$$T_0 = 298 \text{ K}$$

$$p_{v0} = 1000 \text{ Pa.}$$

Korekční faktor: [7]

$$C_{f_ISO} = \left(\frac{p - p_v}{p_0 - p_{v0}} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T_0}{T} \right)^{0,6}, \quad (9)$$

kde: p_0 je referenční hodnota tlaku, p_{v0} je referenční hodnota tlaku vodní páry, p základní hodnota tlaku, p_v základní hodnota tlaku vodní páry, T_0 referenční hodnota teploty a T základní hodnota teploty.

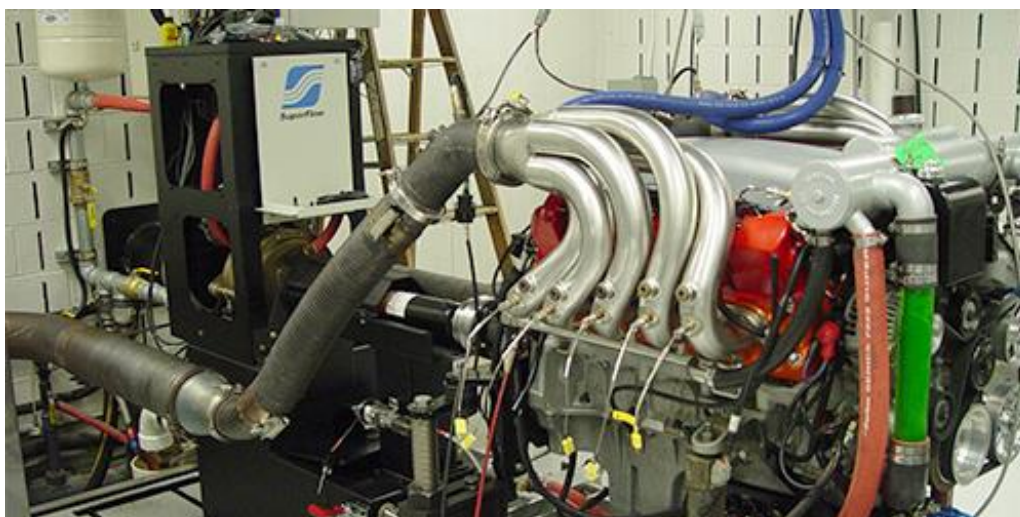
2 DRUHY DYNAMOMETRŮ

Dynamometry lze dělit pomocí několika hledisek. Nejdůležitější hlediska jsou z pohledu konstrukce na motorové a vozidlové dynamometry. Konstrukce dynamometru se volí podle druhu zkoušek, ke kterým bude zařízení sloužit.

2.1 MOTOROVÉ DYNAMOMETRY

Motorové dynamometry slouží pro měření samotného agregátu bez zbytku vozidla. Obvykle jsou používány pro vývoj motoru, neboť umožňují přesněji simulovat požadované podmínky a jsou vhodné i pro realizaci zkoušek živostnosti.

Motorové dynamometry lze také rozdělit na pasivní a aktivní dynamometry. Pasivní dynamometry jsou schopny pouze klást odpor měřeným zařízením. Aktivní dynamometry jsou schopny pohánět měřené zařízení.

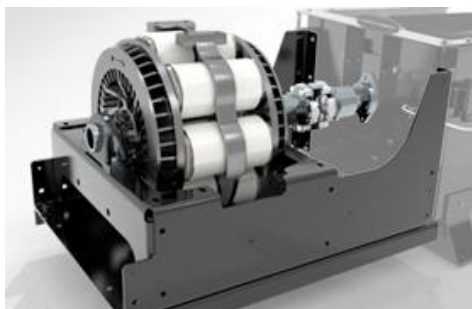


Obr. 5 Motorová zkušebna s motorovým dynamometrem SuperFlow. [8]

2.1.1 DRUHY A KONSTRUKCE MOTOROVÝCH DYNAMOMETRŮ

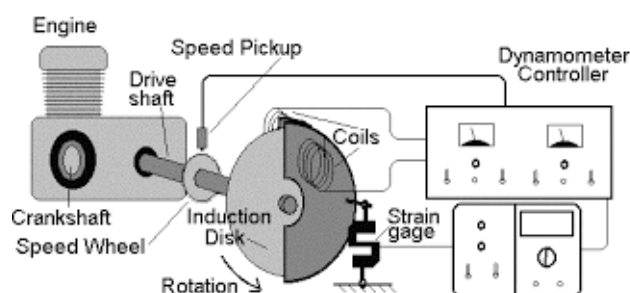
Nejpoužívanější dva principy konstrukce motorových brzd jsou vířivé motorové brzdy a hydraulické motorové brzdy.

Vířivé brzdy fungují na principu elektromagnetismu. Tyto retardéry mohou být chlazené vzduchem či vodou.



Obr. 6 Elektromagnetický retardér. [10]

Brzdňý moment je u elektromagnetického retardéru tvořen vířivými proudy, které vznikají průtokem stejnosměrného proudu elektromagnetickými cívkami v retardéru. Je měřena síla na rameni statoru. Tyto veličiny tvoří velikost brzdňého momentu. Schématické zobrazení funkce je vyobrazeno na obr. 7.



Obr. 7 Schéma vířivé brzdy pro statické měření. [11]

U hydraulických brzd je obvykle použito jako médium voda. Hydraulické retardéry jsou konstruovány jako neúčinná čerpadla, u kterých jsme schopni škrtnout výstup vodního proudu. Energetické ztráty v hydraulickém retardéru slouží k tvorbě brzdňého momentu o opačném směru než točivý moment vytvářený motorem. Voda je také použita jako chladicí kapalina. Pohybová energie je přeměněna na tepelnou.



Obr. 8 Hydraulický retardér. [9]

Retardéry se skládají ze statoru a rotoru. Stator je uložen v ložiscích na hřídeli a je k němu připevněno rameno známé délky. (Obr. 8) Na konci ramene se nachází snímač sloužící k získání velikosti působící síly na daném rameni. Tímto se zachytí reakce statoru.

2.2 VOZIDLOVÉ DYNAMOMETRY

Vozidlové dynamometry měří přímo vozidla. Jsou konstruovány podle typu vozidla. Nejčastějším rozdělením jsou zkušebny pro automobily a motocykly. Zde je možné pozorovat variabilitu měřených zařízení. Na dynamometru pro automobily lze do jisté míry změřit výkon motocyklu, ale naopak to provést možné není.

Vozidlo je upnuto ke konstrukci dynamometru a není nutné provádět jakýkoliv zásah do motocyklu. Nejčastěji se používá rotačního válce, který simuluje jízdu po silnici. Z tohoto důvodu jsou vozidlové dynamometry označovány také jako válcové.

Při porovnání s motorovými dynamometry mají vozidlové dynamometry nevýhodu v chlazení motoru. Je nezbytné zajistit dostatečné chlazení ventilátory, avšak nikdy nebude možné provádět dlouhodobá měření.



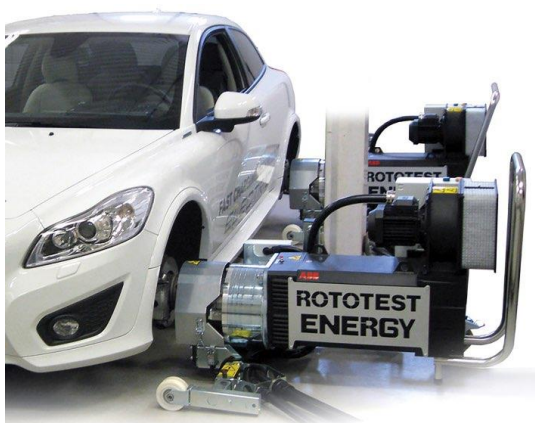
Obr. 9 Válcový dynamometr pro motocykly firmy Dynojet. [12]

2.2.1 DRUHY VOZIDLOVÝCH DYNAMOMETRŮ

Jak již bylo zmíněno, vozidlové dynamometry používáme k získání charakteristických veličin bez demontáže motoru z vozidla. Obvykle se jedná o válcové dynamometry, avšak lze používat konstrukce bez rotačního válce.

ROTOTEST

Válcové dynamometry jsou v současnosti nejpoužívanější, avšak jsou zde i další pohledy a odlišnosti konstrukcí, které nelze do tohoto rozdělení zařadit. Je tomu například při měření výkonu automobilu či podobných vozidel, kdy se předchází ztrátám ve spojení pneumatiky s válcem. Dynamometr se připojí na náboj automobilu a tímto způsobem je kolo s pneumatikou vyřazeno ze systému měření. Toto řešení je vhodné při finálním nastavení automobilů s vysokým výkonem. Jelikož při měření těchto vozidel na válcovém dynamometru může dojít k prokluzu pneumatiky. Firma vyrábějící tento druh dynamometru se nazývá Rototest. Tyto dynamometry je možné použít pro statická měření. Tento systém je vhodnější oproti válcovým dynamometrům, ale často není použit kvůli vysoké finanční náročnosti. Dále je také nutné vlastnit různé druhy adapterů pro připojení různých druhů automobilů kvůli odlišnosti připojovacích rozměrů disků.



Obr. 10 Dynamometr od firmy Rototest. [13]

VÁLCOVÉ DYNAMOMETRY

Válcové dynamometry fungují na principu měření zrychlení válce o známém momentu setrvačnosti. V praxi se můžeme setkat se zařízeními, kde je válec doplněn o retardér přidávající zátěž. U menších výkonů lze provést pomocí retardéru i statické měření. Limitem je schopnost pneumatiky přenést výkon vozidla na válec.

2.2.2 PRINCIP DYNAMICKÉHO MĚŘENÍ

Z funkčního hlediska je měření založeno na principu měření zrychlení soustavy o známém momentu setrvačnosti.

Mezi nezbytně měřená data řadíme otáčky rotačního válce dynamometru, otáčky motoru a čas měření. Bez těchto dat není možné získat požadované hodnoty výkonu a točivého momentu. Výkon motoru je uvažován k ose rotace klikové hřídele. Výkon motoru je měřen na zadním kole za celým pohonným ústrojím. Proto je hodnota výkonu naměřená vozidlovým dynamometrem na zadním kole nižší než při měření na motorovém dynamometru vztaženém

k ose klikové hřídele. Pro porovnání obou měření je proveden přepočet výkonu na klikový hřídel.

Válec umístěný v dynamometru se chová jako setrvačník, který roztáčíme pomocí motoru měřeného vozidla.

„Moment setrvačnosti je fyzikální veličina, která vyjadřuje míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu. Její velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení. Body (části) tělesa s větší hmotností a umístěné dál od osy mají větší moment setrvačnosti.“ [5]

Nesmíme zanedbat momenty setrvačnosti ostatních rotujících těles v měřeném systému. Všechny prvky měřeného systému a jejich momenty setrvačnosti je nutné přičíst k momentu setrvačnosti válce s ohledem na převodové poměry mezi prvky. Celkový moment setrvačnosti vytváří odpor pro zrychlení soustavy při dynamickém měření. Pro správné určení celkového momentu setrvačnosti je nutné využít metodu redukce na společný hřídel.

Metoda redukce vytváří náhradu celého mechanismu. V tomto případě redukuje se na těleso konající rotační pohyb. Pro získání redukovaného momentu setrvačnosti se uvažuje rovnost mezi celkovou kinetickou energií mechanismu a kinetickou energií redukovaného tělesa (10).

Rovnost kinetických energií:

$$E_{k_soustavy} = E_{k_red} , \quad (10)$$

kde: $E_{k_soustavy}$ je kinetická energie mechanismu a E_{k_red} je kinetická energie redukovaného tělesa.

Kinetická energie pro rotační pohyb: [2]

$$E_{k_r} = \frac{1}{2} \cdot I_r \cdot \omega_r^2 , \quad (11)$$

kde: I_r je moment setrvačnosti rotačního tělesa a ω_r je úhlová rychlost rotačního tělesa.

Následně je nutné vyjádřit veškeré kinetické energie pomocí veličin vztažených k daným rotačním tělesům. Poté je nezbytné vyjádřit všechny úhlové rychlosti jednotlivých těles soustavy jako funkci úhlové rychlosti redukovaného tělesa. Po dosazení do rovnice (11) a následné úpravě je možné vyjádřit redukovaný moment setrvačnosti k ose redukovaného tělesa. Výše zmíněné kroky je možné obecně vyjádřit pomocí rovnic pro konkrétní případ mechanismu.

Dále je při měření výkonu nutné měřit otáčky válce, na základě kterých jsme schopni stanovit úhlové zrychlení soustavy. Pro přesnější měření se obvykle používá více impulzů v průběhu jedné otáčky válce.

Výpočetní vztah pro točivý moment:

$$M = I_{red} \cdot \varepsilon_v, \quad (12)$$

kde: I_{red} je redukovaný moment setrvačnosti a ε_v úhlové zrychlení válce.

Výpočetní vztah pro výkon motoru:

$$P = I_{red} \cdot \varepsilon_v \cdot \omega_m, \quad (13)$$

kde: I_{red} je redukovaný moment setrvačnosti, ε_v úhlové zrychlení válce a ω_m je úhlová rychlost motoru.

Tímto je možné získat data výkonu a točivého momentu. Tato data v sobě obsahují chybu ztrát. Z tohoto důvodu není možné výsledky měření vztáhnout na výkon motoru a osu rotace klikové hřídele. Jedná se o hodnoty výkonu a točivého momentu na zadním kole.

Pokud chceme získat validní hodnoty výkonu a točivého momentu na klikové hřídeli pomocí vozidlového dynamometru, tak je nutné provést dobřovou zkoušku. Pomocí této zkoušky jsme schopni data získat s relativní přesností.

Při dobřové zkoušce dochází ke zjištění ztrát v průběhu přenosu točivého momentu na válec.

Rovnice výkonu pro dobřovou zkoušku:

$$P = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_m \cdot (I_a \cdot \varepsilon_a + I_z \cdot |\varepsilon_z|), \quad (14)$$

kde: I_a je moment setrvačnosti při zrychlení, ε_a úhlové zrychlení, I_z moment setrvačnosti při zpomalení, ε_z úhlové zpomalení a n_m otáčky motoru.

Po akcelerační zkoušce při maximálních otáčkách je nutné vymáčkout spojku či zařadit neutrální stupeň. V tu chvíli působí na válec odpory v měřeném systému. Moment setrvačnosti při zpomalení se liší od momentu setrvačnosti při zrychlení. Při zařazení neutrálního stupně se v měřeném systému změní hodnota redukovaného momentu setrvačnosti kvůli změně rotujících součástí. Při odhadu momentů setrvačností se dopouštíme systematické chyby.

Působící ztráty přičteme k hodnotám při akceleraci. Úhlové zrychlení při zpomalení má opačný směr vůči referenčnímu souřadnému systému a proto je nutné použít absolutní hodnotu.

Pro přesnější měření je nezbytné odhalit možný prokluz pneumatiky na rotačním válci popřípadě prokluz spojky. Avšak není možné rozeznat, kde prokluz nastal. Je nezbytné určit převodový poměr skrze systém na rotační válec dynamometru. Při měření otáček motoru a otáček rotačního válce by měl být převodový poměr konstantní. Při prokluzu dojde ke změně hodnoty převodového poměru. Při prokluzu dochází k urychlení motoru, ale neodpovídají tomu hodnoty úhlového zrychlení rotačního válce. Následkem dochází k získání menších hodnot výkonu a točivého momentu. Toto měření nelze považovat za platné.

Prokluz je jedním z reálných problémů. Pneumatika přenese nejvíce točivého momentu v mírném prokluzu. Tímto vzniká odpadní teplo, které ohřívá pneumatiku, proto není možné provádět dlouhodobé zkoušky.

3 MĚŘÍCÍ STANOVISTĚ PRO MOTOCYKL

Cílem celého projektu je postavit zkušebnu pro měření výkonu a točivého momentu motocyklu. Na základě rešerše byl zvolen pasivní válcový dynamometr schopný statického měření. Volba byla učiněna na základě potřeby finálního nastavení motoru po provedených úpravách. Jednotlivé nastavení motocyklu na základě specifických požadavků na výkonovou křivku je nutné vždy následně ověřit při jízdách zkouškách.

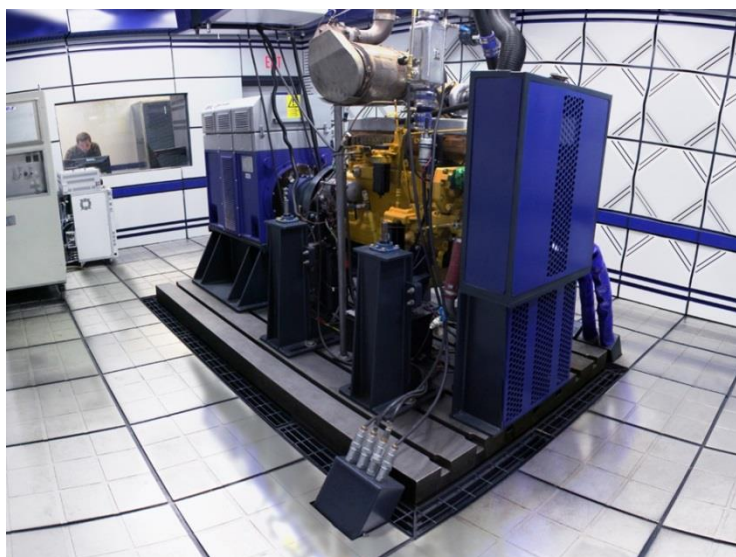
3.1 REALIZACE V RÁMCI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kvůli časové náročnosti nebylo možné vše dokončit v rámci bakalářské práce. Tento projekt vznikl před započítím bakalářské práce a bude také pokračovat po jejím dokončení. Ověření funkčnosti lze potvrdit při opakovaném měření za dodržení konstantních podmínek. Výsledky těchto měření by se měly shodovat s relativní přesností.

Důraz je tedy kladen na opakovatelnost validních výsledků. Absolutní přesnost měření a určení parametrů není vzhledem k použití prioritou, neboť zařízení se ve většině případů bude používat pro komparativní účely.

3.1.1 ZKUŠEBNA

Zkušebnou nazýváme prostor, který je dedikovaný a uzpůsobený pro specifické testování. Tento prostor je uzpůsoben svou velikostí, kdy je nutné zajistit dostatek místa pro technologii. Je nezbytné mít dostatek prostoru pro pohyb.



Obr. 11 Zkušebna pro motorový dynamometr. [14]

Nejdůležitějším předpokladem je znalost funkce zkušebny. Pro dedikovanou finální funkci se uzpůsobuje konstrukce. Realizace zkušebny pro motorový dynamometr je značně náročnější než pro vozidlový dynamometr. Je to z důvodu nutnosti zajištění dalších nezbytných systémů pro správnou funkci motoru. Při použití vozidlového dynamometru jsou tyto systémy zakomponovány přímo ve vozidle. (např. systém chlazení motoru)

Z hlediska řešení zvukové izolace je nejvhodnější postavit místnost uvnitř obalové místnosti. Tyto místnosti budou izolovány mezi sebou. Vnitřní místnost je pružně uložena v obalové místnosti. Dále je nutné zajistit vzduchově těsné uzavření vnitřní místnosti např. u dveří. Z pohledu zvuku jako podélného tlakového vlnění je tedy hladina hluku mimo zkušebnu omezena na minimum. Tohoto principu se obvykle nevyužívá z důvodu finanční a časové náročnosti na konstrukci.

Obvykle jsou tyto zkušebny konstruovány jako buňky uvnitř velkých budov. Toto však není případem této realizace. Tato zkušebna je postavena přímo jako malá budova.

Stavební materiál je vhodné volit dle finančního rozpočtu. Je možné zakoupit speciální protihlukový stavební materiál. Při stavbě zkušebny bylo použito konvenčního betonového materiálu s litym betonovým stropem. Dále bude kladen důraz na protihlukovou izolaci, která bude provedena na obvodových zdech. Strop bude hlukově izolován zevnitř zkušebny.



Obr. 12 Litý betonový strop zkušebny.

Dynamometr bude vestavěn do podlahy spolu s dalšími technologickými prvky. Proto bylo nutné v konstrukci vytvořit prostor pod úroveň podlahy. (Obr. 13)



Obr. 13 Konstrukce prostoru pod úrovní podlahy.

Pro úspěšné odhlučnění je nutné volit správnou konstrukci dveří. Dveře byly konstruovány z ocelového rámu a výplň byla zvolena z izolačního materiálu.



Obr. 14 Konstrukce dveří.

CIRKULACE VZDUCHU

Systém cirkulace vzduchu je jednou z nejvýznamnějších částí projektu. Je nezbytné zajistit motoru dostatek čistého vzduchu, který nebude smíšen s výfukovými plyny. Dále je nutné zajistit dostatek vzduchu pro náporové chlazení motoru během měření. Přívod čerstvého

vzduchu do zkušebny z okolního prostředí je nutné provést bez vzniku přetlaku či podtlaku během měření. Tato situace může nastat, pokud se objemový tok čerstvého vzduchu do zkušebny výrazně odlišuje od objemového toku směsi výfukových plynů a vzduchu ze zkušebny.

Pro konstrukci vzduchotechniky je nezbytné použít vhodných ventilátorů, které budou schopny dostatečně rychle vyměnit objem vzduchu ve zkušebně za specifikovaný časový interval. Toto je možné určit ze spotřeby čerstvého vzduchu, která je spotřebována měřeným motorem za daný časový interval.

Aby vlivem průtoku vzduchu zkušebnou nevznikal ve zkušebně přetlak či podtlak, tak bude zakomponován do konstrukce zkušebny potrubní výstup bez ventilátoru, který bude zajišťovat případné vyrovnání tlaků. Tlak uvnitř zkušebny se tedy bude rovnat referenčnímu atmosférickému tlaku. Tento výstup bude nutné odhlučnit.

Pro potrubí je vhodné použít komerční hliníkové potrubí.



Obr. 15 Hliníkové potrubí. [15]

ODVOD VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Tento proces úzce souvisí s cirkulací vzduchu ve zkušebně, avšak odlišuje se. Snížení teploty výfukových plynů je možné ovlivnit větším průměrem vstupního potrubí, kdy dochází ke strhávání okolního vzduchu a promíšení s výfukovými plyny. Obvykle je využito radiálních ventilátorů.



Obr. 16 Radiální ventilátor. [16]

ODHLUČNĚNÍ

Výše byly zmíněny obecné poznatky odhlučnění zkušebny. Snížení hladiny hluku mimo zkušebnu souvisí s okolním prostředím a pohybem lidí okolo zkušebny v rámci hygienických norem. Při práci uvnitř zkušebny je nutné používat ochranu sluchu.

Dále je nutné odhlučnit veškeré vstupy a výstupy, kterými by mohl případný hluk vycházet ze zkušebny. Používají se absorpční tlumiče.



Obr. 17 Absorpční tlumič hluku. [17]

PRVKY DYNAMOMETRU

Ve zkušebně je nutné mít předem připravené místo na veškerou technologii dynamometru. Pokud je dynamometr vestavěný do podlahy, tak konstrukce upínacího mechanismu je nevyhnutelná. Mezi mechanické prvky dynamometru, které jsou nezbytné pro měření, je řazen válec, rám a upínací mechanismus.

ELEKTROINSTALACE

Je nutné najít vhodné umístění počítače popřípadě ovládacího stanoviště v motorových zkušebnách. S tímto souvisí veškerá elektroinstalace ve zkušebně. Je nutné propojení počítače s mikropočítačem. Mikrokontroler musí být propojen s veškerými prvky a snímači dynamometru. Nezbytné je také ovládání dalších prvků zkušebny. Je vhodné vytvořit uživatelsky přívětivé prostředí, které bude při měření přehledné a dobře ovladatelné.

3.1.2 OBECNÁ KONSTRUKCE DYNAMOMETRU

Konstrukce zvoleného dynamometru se může lišit podle dispozičního charakteru zkušebny. Komerční dynamometry jsou obvykle konstruovány jako celek, který není do zkušebny zakomponován. Plocha uložení motocyklu je nad úrovní podlahy zkušebny a mechanismu pro fixaci předního kola je konstrukčně zakomponován do dynamometru.

Dalším druhem jsou dedikované dynamometry pro předem připravené zkušebny. Rotační válec uložený v rámu je zakomponován pod úroveň podlahy zkušebny. Další technologie může být také uložena v takovém prostoru.

Z časových důvodů nebylo možné zkušebnu plně dokončit, proto byl vytvořen přídatný rám. Tento rám je podobné konstrukce jako u komerčních dynamometrů. Variabilita zařízení umožňuje sestavení a testování kdekoli.



Obr. 18 Rám pro uložení rotačního válce.

Pro získání dat bakalářské práce nebude měření provedeno v dedikované zkušebně, ale dynamometr bude sestaven ve vhodně zvolené místnosti. Místnost nebude obsahovat přídatné systémy, které jsou ve zkušebně nutné. Nejsou však vitální částí a měření je možné provést bez jejich použití.

3.1.3 ROTAČNÍ VÁLEC

V minulosti byly používány dva malé rotační válce, ale zjistilo se, že deformace pneumatiky není vhodná. Je to z důvodu nevhodné simulace reálných podmínek.



Obr. 19 Konstrukce dynamometru se dvěma válci. [18]

Při testování závodního motocyklu může nastat situace, kdy motocykl nebude disponovat startérem ani nožním startováním. K startování těchto strojů musí být užito externího startéru. V tomto případě je nutné dynamometr vybavit externím startérem, který umožní roztočit válec a dojde k rotaci zadního kola.

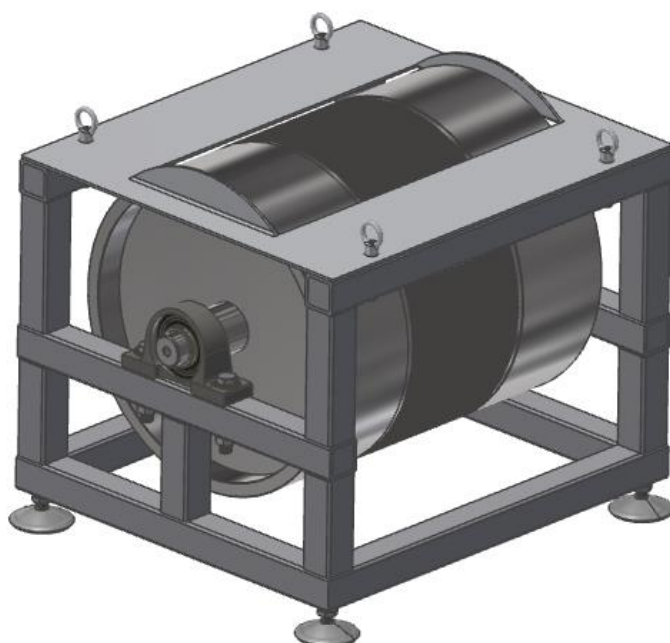
Z hlediska postupné kompletace byl zvolen válec pro dynamické měření, který bude dovybaven retardérem pro statická měření.

Válec je konstruován se dvěma náboji. Jeden se použije na propojení s retardérem. Druhý náboj je možné použít na kotoučovou brzdu.

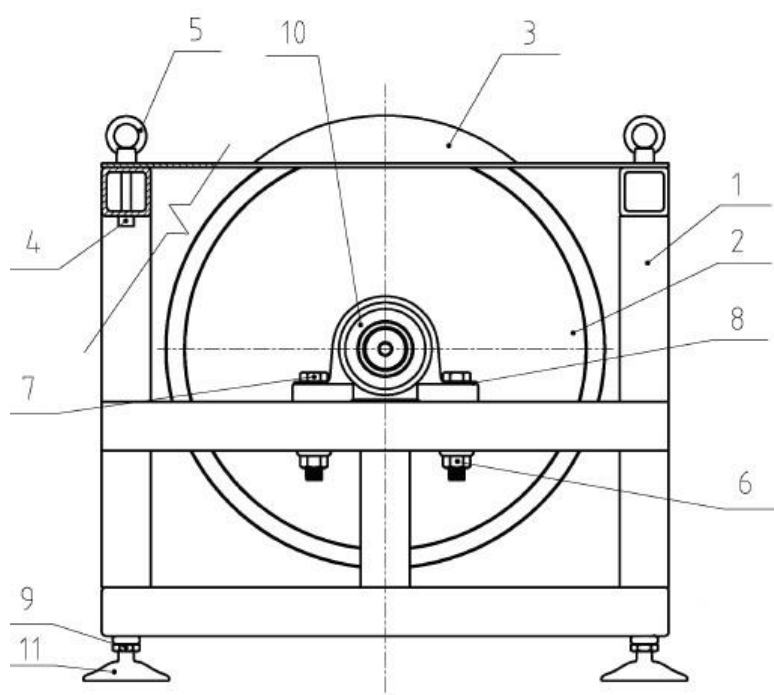
Konstrukce rotačního válce musí obsahovat úpravu povrchu kvůli zvýšení koeficientu tření na stykové ploše. Je to z důvodu snížení náchylnosti k prokluzu pneumatiky. Obvykle se používá drážkování zhotovené na soustruhu.

Jako výrobní materiál je obvykle použita ocel. Výrobu lze realizovat pomocí trubkových polotovarů a vytvořit svařovaný válec s velkým průměrem. Tímto způsobem se zvýší moment setrvačnosti.

Finální procedura je vyvážení válce. Vyvážení válce je nutné provést staticky i dynamicky.



Obr. 20 Sestava rotačního válce s uložením.



Obr. 21 Sestava jednotlivých prvků uloženého rotačního válce v rámu. (1- rám, 2- rotační válec, 3- krycí plech, 4- šroub, 5- prvek pro upnutí motocyklu, 6- matice, 7- šroub, 8- podložka, 9- matice, 10- ložisko, 11- výškově stavitelný prvek)

Pro spolupráci byla oslovena firma MOTOCOM. Tato firma dodala vyrobený válec. Doporučený měřicí rozsah je 250 hp a 250 km/h.



Obr. 22 Rotační válec dynamometru.

3.1.4 RETARDÉR

Pro finální dokončení byla zvolena elektromagnetická vířivá brzda. Tato brzda funguje na principech elektromagnetismu. Jak bylo vysvětleno v kapitole 2.1.1. Po kompletaci bude možné provádět statická měření.

Je vhodné zvážit přeměnu rotační pohybové energie na tepelnou. Retardér bude vytvářet odpadní teplo. Toto teplo může ovlivňovat podmínky během měření. Z tohoto důvodu byl zvolen typ s vodním chlazením.

Pro tento druh je nezbytné zajistit chladicí systém. Tento systém obsahuje chladicí kapalinu, vedení kapaliny, čerpadlo, nádrž na kapalinu, chladič, expanzní nádobu a ventilátor.



Obr. 23 Elektromagnetický retardér. [19]

3.1.5 ULOŽENÍ VÁLCE

Pro uložení válce do rámu jsou použita ložiska v ložiskových domcích typu UCP 209.



Obr. 24 Uložení hřídele rotačního válce v ložiscích.

3.1.6 SNÍMAČ OTÁČEK VÁLCE

Pro potřebu měření otáček válce byl použit snímač pracující na principu Hallova jevu. Na obvodu válce lze nalézt snímající magnet. Snímač je připevněn k rámu a při rotaci válce dochází k předání signálu, který je dále zpracován mikrokontrolerem.



Obr. 25 Magnet a snímač otáček válce.

3.1.7 UPÍNACÍ MECHANISMUS PŘEDNÍHO KOLA

Vzhledem k měření v dočasném prostředí byla také nutnost rám pro tuto aplikaci vybavit upínacím mechanismem, který obsahoval jednoduché nastavení vzdáleností od osy rotace válce. Toto nastavení je nutné z důvodu různých rozvorů kol u motocyklů.



Obr. 26 Upínací mechanismus předního kola.

Pro finální realizaci je nutné ve zkušebně tento mechanismus konstruovat jiným způsobem. Mechanismus pro upevnění předního kola je oddělen od zbylé konstrukce a je v úrovni podlahy. Na podlaze budou připevněny ližiny, po kterých bude možné nastavit správnou vzdálenost mezi osou předního kola a osou rotace válce. (Obr. 24) Posledním zakomponovaným prvkem bude lineární aktuátor, který bude zajišťovat automatické nastavení této vzdálenosti. Na fotografii je možné vidět započatou konstrukci a ližiny pro tento způsob uchycení předního kola. K bezpečnému upnutí motocyklu se obvykle používají popruhy. Toto se neodlišuje od uchycení automobilu.



Obr. 27 Fotografie započaté konstrukce pro upnutí předního kola ve zkušebně.

3.1.8 SOFTWARE

V současnosti je možné zakoupit externí software, mikrokontroler a požadované snímače pro dynamometry. Popřípadě lze použít i omezené „free“ licence. Software byl zakoupen spolu s válcem od firmy MOTOCOM. Tento software prošel dlouholetým vývojem a je tedy příslušně ověřena jeho plná funkčnost.



Obr. 28 Mikropočítač zpracovávající měřená data.

Mikrokontroler obsahuje rovněž vstupy pro snímače, které mohou být použity při měření a jsou zaznamenány společně s výkonovou křivkou.

Tab. 1 Vstupy a výstupy mikropočítače.

Počet a funkce
8x Analogové vstupy 0-5 V
2x Frekvenční vstupy (otáčky)
1x Reset
1x Výstup 0-5 V (ovládání retardéru)
1x Komunikace PC
1x Napájení 12 V

Analogové vstupy jsou použity k měření teplot, tlaků a případného použití O₂ senzoru. Toto napovídá, že jsou obvykle měřeny další veličiny důležité pro správné nastavení motocyklu, avšak nenapomáhají přímo při zjištění výkonu a točivého momentu motocyklu.

4 PROVEDENÍ ZKUŠEBNÍHO MĚŘENÍ

Zkušební měření bylo provedeno ve vhodně zvolené místnosti. V místnosti byl zajištěn dostatek čerstvého vzduchu. K měření byl použit motocykl Yamaha TZR 50. Technické údaje motocyklu převzaty z technického průkazu jsou v níže uvedené tabulce.

Tab. 2 Technické údaje motocyklu.

Typ	Yamaha TZR 50
Zdvihový objem [cm ³]	49,7
Výkon [kW/ min ⁻¹]	1,8/ 5000

4.1 NASTAVENÍ SOFTWARE

Nastavení softwaru a porozumění plné funkci je nejdůležitější součástí měření. Nejdůležitější je správné nastavení momentu setrvačnosti.

Moment setrvačnosti rotačního válce byl zjištěn analyticky a jeho hodnota je 5,77 kg.m². Dále je nutné zadat atmosférické podmínky při měření, které slouží jako vstup pro korekci měření. V softwaru je možné následně zvolit korekci dat dle norem ČSN, JIS, SAE, DIN a ISO.

Pokud je dynamometr vybaven jednotlivými senzory teploty, tlaku popřípadě lambda sondou, tak je následně možné shromažďovat další data. V provedeném měření nebyla zkušebna dodatečnými snímači osazena.

4.2 PRŮBĚH MĚŘENÍ

Motocykl byl bezpečně upnut k dynamometru. Byla zajištěna provozní teplota motoru. Měření proběhlo při atmosférických podmínkách, které jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 3 Atmosférické podmínky při měření.

Teplota [°C]	24,8
Tlak [hPa]	1023
Vlhkost [%]	31

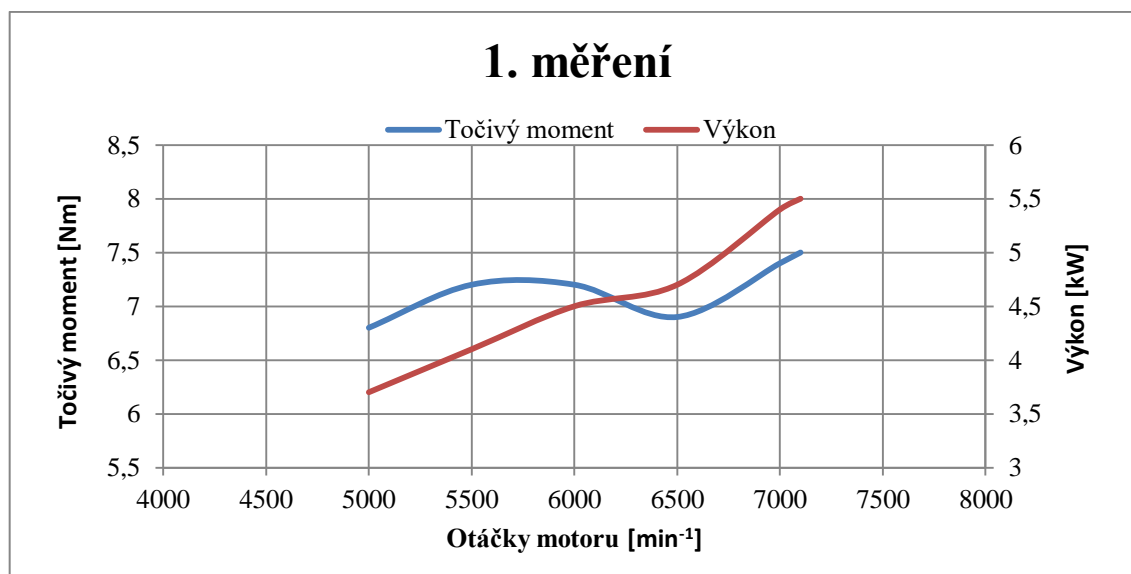


Obr. 29 Motocykl na dynamometru.

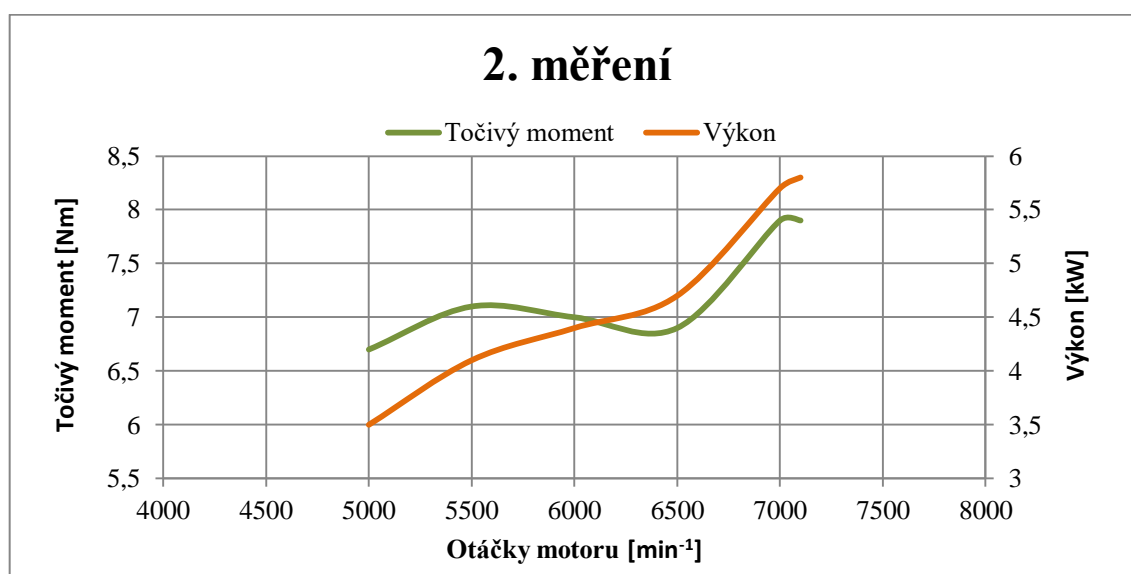
Měření bylo provedeno bez ohledu na optimalizaci výkonové a momentové křivky. Jednotlivá měření neprobíhala do maximálních otáček motoru. Cílem měření bylo ověření opakovatelnosti měření a ověření, že je daná metoda měření vhodná pro posouzení vlivu úprav provedených na motocyklu. Všechna měření byla provedena s doběhovou zkouškou.

4.3 KORIGOVANÁ DATA

Data byla zpracována v softwaru MOTOCOM a následně převedena do výsledných grafů.



Obr. 30 Průběh prvního měření.

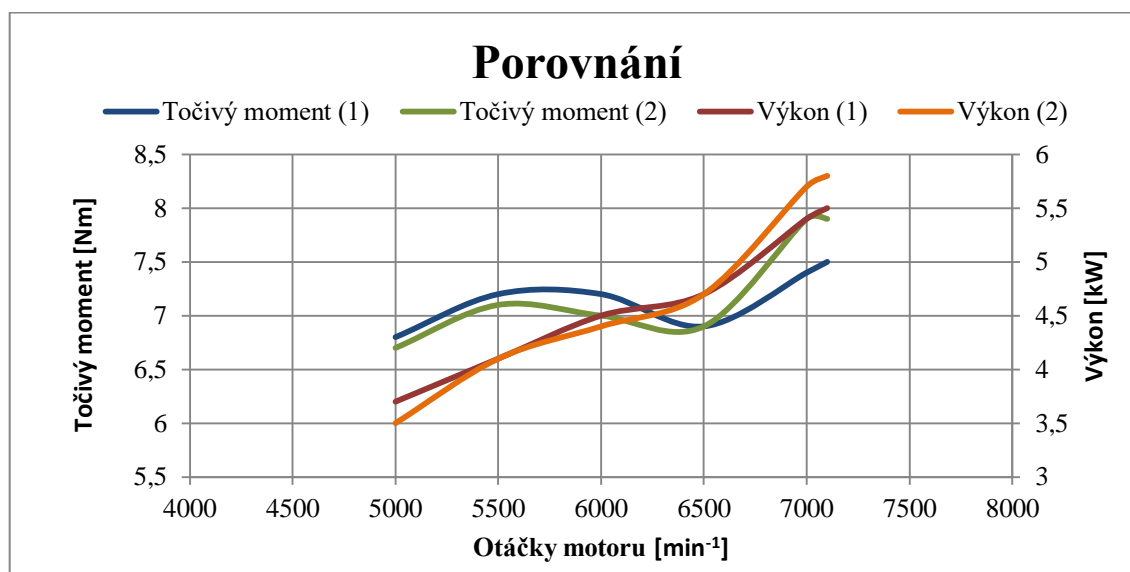


Obr. 31 Průběh druhého měření.

Hodnoty výkonu jsou přepočteny na klikový hřídel motoru. Maximální hodnoty změřených veličin jsou v tabulce vyznačeny modře.

Tab. 4 Vybrané body naměřených dat.

Otáčky motoru [min ⁻¹]	Měření č. 1		Měření č. 2		Rozdíl měření	
	Točivý moment [Nm]	Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]	Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]	Výkon [kW]
5000	6,8	3,7	6,7	3,5	0,1	0,2
5500	7,2	4,1	7,1	4,1	0,1	0
6000	7,2	4,5	7,0	4,4	0,2	0,1
6500	6,9	4,7	6,9	4,7	0	0
7000	7,4	5,4	7,9	5,7	0,5	0,3
7100	7,5	5,5	7,9	5,8	0,4	0,3



Obr. 32 Porovnání jednotlivých měření.

ZÁVĚR

Na základě řešerše bylo zvoleno vhodné zařízení k měření výkonu a točivého momentu motocyklu. Vzhledem k délce projektu bylo nutné měření provést v provizorních podmínkách.

Zhodnocením porovnání dvou po sobě jdoucích měření je možné říct, že zvolená metoda poskytuje výsledky s dostatečnou opakovatelností, aby bylo možné objektivně posoudit přínos amatérských úprav motocyklu a jejich vliv na průběh výkonové křivky.

Dalším krokem může být použití retardéru a osazení snímačů pro měření teplot popřípadě tlaků, na základě kterých bude možné posoudit lépe vliv prováděných úprav.

Současné technologie používané při vývoji motorů v profesionálních vývojových odděleních jsou na mnohem vyšší úrovni, ale s přihlédnutím k pořizovacím nákladům jde o metodu adekvátní, která má pro amatérské použití stále co nabídnout.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] E. SHIGLEY, Joseph, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 3. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika*. 2013. Brno: VUTUM, 2013. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [3] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. Brno: vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [4] DIXON, John C. *The high-performance two-stroke engine*. 1. Sparkford: Haynes, 2005. ISBN 1-84425-045-8.
- [5] Moment setrvačnosti. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Moment_setrvačnosti
- [6] JENNINGS, Gordon. *Two-Stroke TUNER'S HANDBOOK*. HP Trade, 1987. ISBN 978-0912656410.
- [7] SONDRÉ, J. R. a S. M. C. SOARES. *Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions* [online]. 2003, [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.scielo.br/pdf/jbsmse/v25n3/a10v25n3.pdf>
- [8] Products. In: *https://www.superflow.com/* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://www.superflow.com/userdocs/products/Ilmor_500x250.png
- [9] *Water brake* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://yourdyno.com/wp-content/uploads/2016/02/dynamometers-water-brake-300x244.jpg>
- [10] *Eddy brake* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.dynojet.com/Images/Products/Accessories/Eddy-Brake-Auto.jpg>
- [11] *Scheme* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT58r2qwGkEQpobJJXsPvxRWS2mutP9dvQ7Hhf0rgfHG01dY6Ggig>
- [12] *Dynocell* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://ww2.onvacations.co/dynojet-motorcycle-dyno-cost/>
- [13] *Rototest* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://rototest.com/wp-content/uploads/2018/05/om_rototest.jpg
- [14] *Dynocell* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://fmcMichigan.com/wp-content/uploads/2014/01/AVI-testcell_B.jpg
- [15] *Potrubí* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.ltklima.cz/upload/728-0803255367.jpg>
- [16] *Ventilátor* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: http://www.multivac.cz/editor/image/produkty1/obrazek_315.jpg

- [17] *Tlumič hluku* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z:
https://cdn.myshoptet.com/usr/www.spiropotrubi.cz/user/shop/detail/216_tlumic-hluku.jpg?5b5de59c
- [18] *Dyno assembly* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z:
http://www.factorypro.com/images/dyno_assembly/dyn_auto_roller,rearwheels.jpg
- [19] *Dynapro* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z:
<http://www.dynapro.co.uk/Site/graphics/Technical%20Info/Quality/Air-ducts.jpg>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C_{f_ISO}	[-]	Korekční faktor ISO
C_{f_SAE}	[-]	Korekční faktor SAE
C_{fl_SAE}	[-]	Korekční faktor SAE
dt	[s]	Infinitezimální okamžik času
dW	[J]	Elementární práce
E_{k_r}	[J]	Kinetická energie při rotačním pohybu
E_{k_red}	[J]	Kinetická energie redukováného tělesa
$E_{k_soustavy}$	[J]	Kinetická energie soustavy
F	[N]	Působící síla
I	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti tělesa
i	[-]	Počet válců
I_a	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti při zrychlení
I_r	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti rotačního tělesa
I_{red}	[kg·m ²]	Redukovaný moment setrvačnosti
I_z	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti při zpomalení
M	[Nm]	Točivý moment motoru
M_z	[Nm]	Moment síly
N	[s ⁻¹]	Otáčky motoru
n	[-]	Korekční exponent
n_m	[min ⁻¹]	Otáčky motoru
\varnothing	[°]	Úhel mezi vektory
P	[W]	Výkon
p	[Pa]	Základní hodnota tlaku
p_0	[Pa]	Referenční hodnota tlaku
P_e	[Pa]	Průměrný tlak (BMEP)
p_R	[Pa]	Referenční hodnota tlaku
p_v	[Pa]	Základní hodnota tlaku vodní páry
p_{v0}	[Pa]	Referenční hodnota tlaku vodní páry
p_w	[Pa]	Základní hodnota tlaku vodní páry
p_{WR}	[Pa]	Referenční hodnota tlaku vodní páry
r	[m]	Rameno síly
T	[K]	Základní hodnota teploty

T_0	[K]	Referenční hodnota teploty
T_C	[C°]	Základní hodnota teploty
T_K	[K]	Základní hodnota teploty
T_{KR}	[K]	Referenční hodnota teploty
V_h	[m ³]	Zdvihový objem
ε	[rad·m ⁻²]	Úhlové zrychlení
ε_a	[rad·m ⁻²]	Úhlové zrychlení
ε_v	[rad·m ⁻²]	Úhlové zrychlení válce
ε_z	[rad·m ⁻²]	Úhlové zpomalení
ω	[rad·m ⁻¹]	Úhlová rychlost motoru
ω_m	[rad·m ⁻¹]	Úhlová rychlost motoru
ω_r	[rad·m ⁻¹]	Úhlová rychlost rotačního tělesa